

Circuito de Granulación de Urea: Análisis de Diagramas de Flujo Alternativos

Resumen. En este trabajo se utiliza un simulador del circuito de granulación de urea, previamente desarrollado, para explorar diagramas de flujo alternativos al tradicional. La planta de granulación en estudio incluye un granulador de lecho fluidizado, una unidad de enfriamiento, zarandas vibratorias de doble paño y molinos de rodillos. Con las nuevas configuraciones se busca disminuir la cantidad de finos que circulan en el sistema mediante la purga o derivación a disolución de fracciones o la totalidad de la corriente que abandona el molino de rodillos. El análisis de las distintas opciones permitió determinar que la incorporación de una zaranda a la salida de dicho equipo que separe las partículas menores a 1 mm evitando o disminuyendo su ingreso al granulador, favorece la generación de producto dentro del rango de comercialización.

Palabras Claves: Granulación, Diagramas de Flujo, Fertilizantes.

Ivana Cotabarren¹, Verónica Bucalá¹ y Juliana Piña¹

1 Dto. Ing. Qca. - Universidad Nacional del Sur (UNS); PLAPIQUI (UNS-CONICET) - Bahía Blanca - Argentina. E-mail icotabarren@plapiqui.edu.ar

pronosticado un aumento en la capacidad mundial de urea de 224.5 Mt para el año 2015 [2].

La granulación de urea es una operación compleja y difícilmente puede ser llevada a cabo en una única etapa; en general está compuesta por una serie de equipos que realizan operaciones específicas del proceso constituyendo los llamados circuitos de granulación (Fig. 1). La unidad principal es el granulador de lecho fluidizado donde pequeñas partículas denominadas semillas (generalmente material fuera de especificación) son continuamente introducidas y rociadas con una solución de urea líquida concentrada. Las semillas crecen por deposición de las gotas de solución sobre la superficie de las partículas, seguida por la evaporación del agua y la solidificación de la urea que constituyen la solución [3]. El granulador cuenta con cámaras de crecimiento donde se atomiza la solución de urea concentrada, y otras de enfriamiento donde se reduce parcialmente la temperatura de los gránulos, todas ellas conformadas por lechos fluidizados. El material particulado que abandona el granulador es enfriado en un lecho fluido y posteriormente clasificado por zarandas de doble paño en material en especificación (producto), material de tamaño mayor al deseado (gruesos) y material de tamaño menor al requerido (finos). El

1. Introducción

La granulación es un proceso de aumento de tamaño que reviste gran importancia en las industrias que manejan sólidos particulados. El término granulación refiere al crecimiento de pequeñas partículas por aglomeración de las mismas o bien por recubrimiento mediante un agente ligante en forma de polvo fino, líquido o fundido (granulación seca, húmeda o fundida, respectivamente). En la industria de los fertilizantes el proceso de granulación es considerado uno de los avances más significativos debido a que permite obtener productos sólidos con claras ventajas en cuanto al almacenamiento, transporte y manejo [1]. Entre los fertilizantes nitrogenados de mayor aplicación a nivel nacional y mundial se encuentra la urea, en particular bajo su forma granulada, cuyo mercado está en constante expansión especialmente en los países con gran crecimiento demográfico. De hecho, la Asociación Internacional de Fertilizantes (IFA) ha

producto se envía al sector de almacenamiento mientras que los gruesos son reducidos de tamaño en los molinos para reciclarse, junto con los finos separados en la zaranda, como semillas al granulador. Los molinos cuentan con dos pares de rodillos ubicados en serie, los cuales permiten disminuir el tamaño de los gruesos [4].

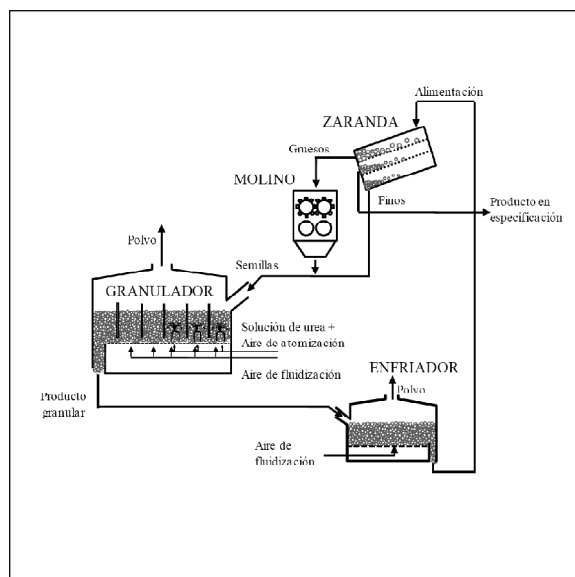


Figura 1. Circuito de granulación típico.

En las plantas de granulación es habitual que sólo una fracción relativamente baja del producto que abandona el granulador esté dentro del rango de comercialización; por lo tanto, comúnmente se opera con altas relaciones de reciclo. El reciclo retroalimenta al granulador masa, energía y una dada distribución de tamaño de partículas (PSD por su sigla en inglés: Particle Size Distribution), por lo cual el circuito suele operar con oscilaciones. Dependiendo de las condiciones operativas, estas oscilaciones se amortiguan o bien conducen a inestabilidades crecientes con paradas de planta indeseadas [5, 6]. Hoy en día, el efecto de las variables operativas sobre la performance del circuito no está entendido en su totalidad, siendo esta la causa por la que numerosas plantas alrededor del mundo aún operan por prueba y error.

Por otra parte, diversos autores han verificado que la estabilidad de los circuitos de granulación está directamente relacionada con la calidad y el caudal de la corriente de gruesos que abandona el molino de rodillos [6, 7, 8]. El molino es el principal generador de núcleos del granulador. Se ha demostrado que un excesivo descenso tanto

en el caudal de gruesos como en el tamaño del material procesado en el molino, puede ocasionar un desbalance de núcleos que puede conducir a inestabilidades permanentes en la operación del circuito [6, 7, 8, 9].

Es por ello que en este trabajo se plantea como objetivo explorar alternativas al diagrama de flujo tradicional del circuito de granulación de urea (Fig. 1) que permitan mejorar la calidad del producto y la operabilidad de la planta. En particular, se analizan la factibilidad y el efecto de purgar o derivar a disolución la corriente de salida del molino de rodillos.

2. Modelos matemáticos e implementación

Los modelos de los distintos equipos que constituyen el circuito de granulación han sido desarrollados en contribuciones anteriores [4, 10, 11, 12]. Todos estos modelos han sido implementados en el ambiente de modelado gPROMS, contando así con una herramienta poderosa para la simulación y optimización de la planta de granulación [11].

Durante la operación normal del circuito, la calidad del producto se evalúa en función de diferentes parámetros; por ejemplo: la fracción en masa de partículas dentro de un determinado rango de tamaño (e.g., W2-4mm) y la mediana en masa o SGN (Size Guide Number) de la PSD. El SGN representa el tamaño en milímetros para el cual el 50 % en peso de los sólidos es más grande y el 50 % restante es más chico, multiplicado por 100. En general, y como consecuencia de los estándares internacionales, se busca un producto con partículas de tamaño entre 2 y 4 mm y valores de SGN entre 270 y 310 [13, 14].

Existen además ciertas restricciones físicas que no deben ser violadas durante la operación del circuito para garantizar la buena performance del proceso. En el caso del granulador, las alturas de los lechos fluidizados en las cámaras no deben ser mayores a la del tabique divisorio (Hweir, ver Fig. 1) existente entre ellas para evitar el pasaje de material por rebalse, ni menores que cierta altura mínima que asegura la atomización de las gotas de urea fundida dentro del lecho. Por ello, se establece que las alturas de las cámaras deben permanecer entre 50 y 90 % de Hweir. En cuanto a las temperaturas de las cámaras de crecimiento, éstas deben ser menores que la temperatura de fusión de la urea (e.g., 132 °C) para evitar la formación excesiva de aglomerados y mayores a

100 °C para permitir la total evaporación del agua contenida en la solución de urea sobre las partículas que constituyen el lecho. Por ende, se establece como rango factible para la temperatura de las primeras tres cámaras aquel entre 100 y 120 °C.

Teniendo en cuenta los modelos desarrollados, se plantearon dos casos de estudio para el presente trabajo: a) la purga de toda la corriente de salida del molino o de fracciones granulométricas de la misma (Fig. 2a) y b) la derivación de toda la corriente de salida del molino o de fracciones granulométricas de la misma a disolución (i.e., para su reingreso a las cámaras de crecimiento del granulador en calidad de solución de urea, Fig. 2b).

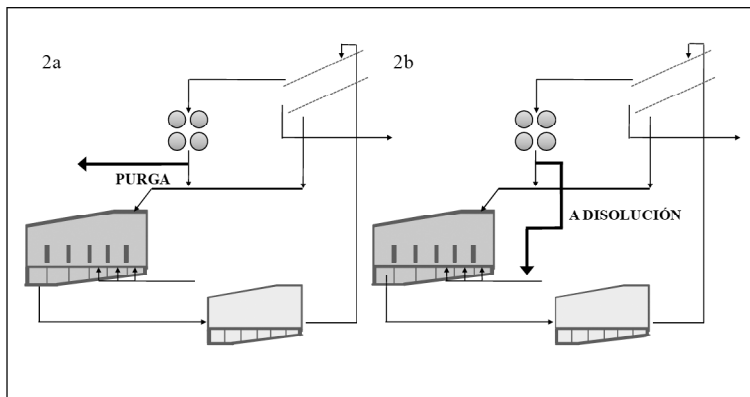


Figura 2. Alternativas al diagrama de flujo del circuito tradicional estudiadas.

3 Resultados y Discusión

3.1 Purga de la corriente molida

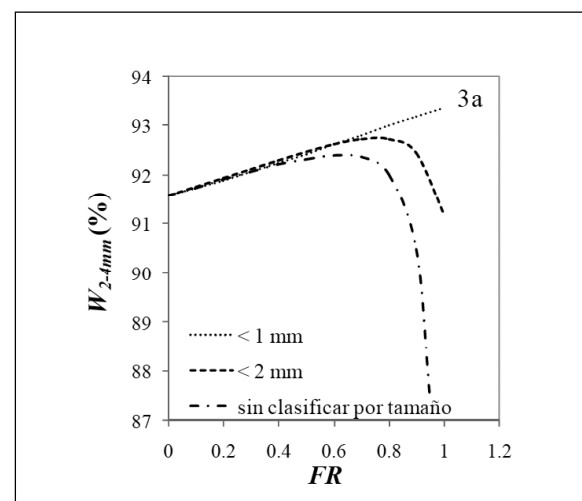
El primer caso analizado consistió en eliminar las partículas más finas del circuito (las cuales, en general, tienden a inestabilizar la operación del mismo) mediante la purga de material de la corriente de salida del molino. Para ello se estudió la purga parcial o total de partículas menores a 1 mm, menores a 2 mm y de la corriente sin clasificar por tamaño. En la práctica, las dos primeras situaciones son comparables a la incorporación de una zaranda sobre la corriente de salida del molino, cuya malla separe las partículas de tamaño deseado con distintas eficiencias. La última situación sólo implica retirar una fracción o el total de la corriente.

La Fig. 3 muestra los valores de estado estacionario alcanzados para ciertas variables

de interés, al realizar purgas de distinta magnitud (FR) de las fracciones granulométricas arriba mencionadas. Se observa que la fracción de producto en especificación aumenta cuando se purga una mayor cantidad de partículas menores a 1 mm. Sin embargo, al purgar las partículas menores a 2 mm o la corriente sin clasificar por tamaño, se observa un máximo en W_{2-4mm} para FR menores a 1. En ambos casos, W_{2-4mm} resulta menor a la cantidad de producto en especificación que se obtiene cuando se purgan partículas menores a 1 mm (Fig. 3a).

Es interesante notar que la eliminación de finos a la entrada del granulador disminuye considerablemente los caudales del circuito (excepto el de gruesos clasificados por la zaranda) y aumenta el tamaño medio o SGN de las corrientes. En consecuencia, las alturas de los lechos fluidizados en las cámaras del granulador también disminuyen.

De hecho, y tal como se observa en la Fig. 3b, la altura de la última cámara (H6) disminuye por debajo del valor mínimo admisible. Por otra parte, el aumento en los gruesos del circuito (y por ende en el SGN de las corrientes) conduce a valores de SGN de producto indeseados para purgas mayores al 85 % de las partículas menores a 2 mm y mayores al 78 % de la corriente de salida del molino sin clasificar por tamaño (Fig. 3c).



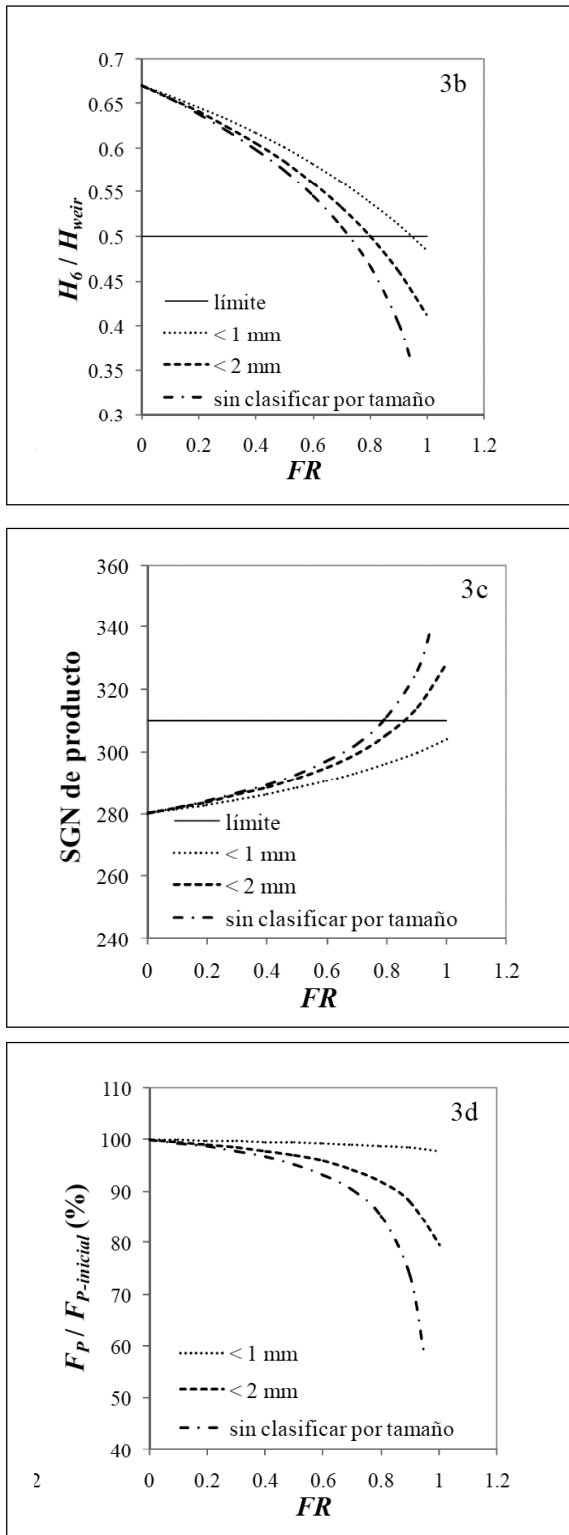


Figura 3. Variables de interés para purgas parciales o totales de distintas fracciones granulométricas de la corriente de salida del molino y de la corriente sin clasificar por tamaño.

Resulta entonces atractivo purgar hasta aproximadamente un 90 % de las partículas menores a 1 mm de la corriente en estudio. Sin embargo, y tal como se observa en la Fig. 3d, la

purga de partículas del circuito disminuye el caudal de producto (FP). Si bien para la purga de partículas menores a 1 mm esta disminución es poco significativa (inferior al 2.5 %), surge como alternativa a este primer estudio reutilizar la corriente purgada derivándola a disolución e inyectándola nuevamente al circuito como solución de urea en las cámaras de crecimiento del granulador.

3.2. Derivación a disolución de la corriente molida

Este estudio es similar al descrito en la Sección 3.1, pero contemplando la disolución del material sólido purgado y su incorporación a la corriente de solución de urea que se inyecta en las cámaras de crecimiento del granulador. Se supone que la disolución del material purgado permite aumentar el caudal de urea en la línea de solución a atomizar en igual magnitud, y por lo tanto la producción de la planta operando en estado estacionario permanece constante. Tal como se observa en la Fig. 4a, mediante la derivación y reuso de las partículas menores a 1 mm, se logra incrementar la fracción de producto en especificación para todo el rango de fracciones de purga (FR) estudiadas. Para la derivación de partículas menores a 2 mm o la corriente sin clasificar por tamaño se observa, sin embargo, que W_{2-4mm} presenta máximos en $FR=0.78$ y $FR=0.65$, respectivamente.

Las alturas de las cámaras del granulador presentan distintos comportamientos según sea la fracción y tamaño derivado. Para derivaciones de partículas menores a 1 mm, las alturas siempre disminuyen como consecuencia de la disminución en el caudal de entrada al granulador. Para derivaciones de la corriente sin clasificar o de partículas menores a 2 mm, las alturas disminuyen hasta una cierta fracción de derivación a partir de la cual el aumento en el caudal de solución de urea comienza a ser más significativo, incrementando la altura de las cámaras. La altura de la última cámara del granulador es inferior al límite establecido como mínimo sólo para la derivación total de las partículas menores a 1 mm (Fig. 4b). Por su parte, el incremento en la inyección de solución de urea (a 130 °C) a las cámaras de crecimiento genera un aumento en la temperatura de las mismas.

Para los casos en los que se deriva a disolución la corriente de salida del molino sin clasificar por tamaño o las partículas menores a 2 mm, existen ciertas fracciones de derivación para las cuales se supera el el valor máximo admisible para las temperaturas de las cámaras de crecimiento. En particular, derivaciones de fracciones de la corriente sin clasificar mayores a un 80 % y de partículas menores a 2 mm superiores a un 95 % incrementan por encima de 120 °C la temperatura de la segunda cámara del granulador (T₂, Fig. 4c). Es interesante notar que la derivación de finos genera un aumento en el SGN de las corrientes, de forma tal que el producto excede el límite de comercialización para derivaciones mayores al 86 % de las partículas menores a 2 mm y mayores al 80 % de la corriente de salida del molino sin clasificar por tamaño (Fig. 4d).

La derivación a disolución prácticamente total de las partículas menores a 1 mm presentes en la corriente de salida del molino y su reinyección al granulador resulta una de las opciones estudiadas más promisorias para optimizar la fracción de producto en especificación de este circuito.

Es de destacar que el simulador desarrollado no obtiene solución cuando se purga o deriva a disolución la totalidad de la corriente de salida del molino, demostrando la función de generación de núcleos que cumple este equipo en el circuito. Este resultado es acorde a lo observado en trabajos previos, donde se demostró que disminuciones muy significativas en el caudal de la corriente de gruesos molidos aumentan la inestabilidad del sistema [11].

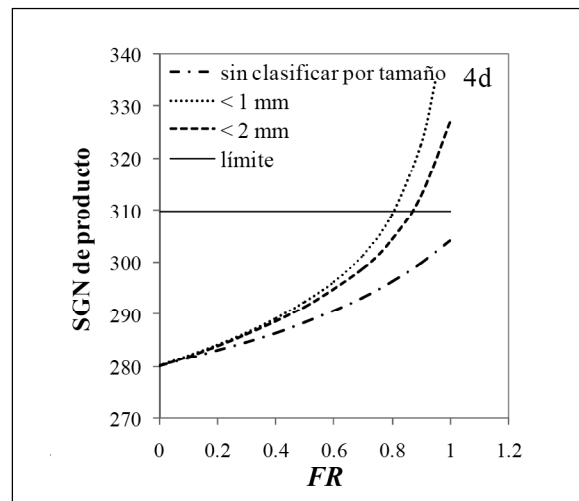
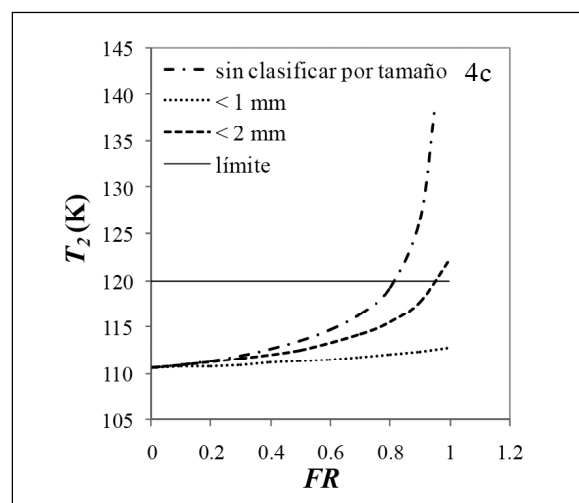
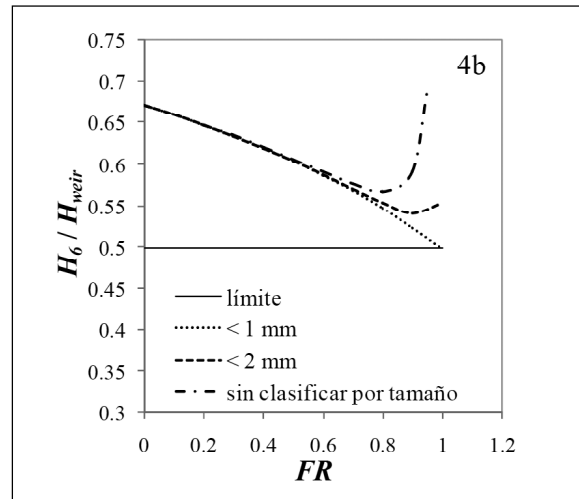
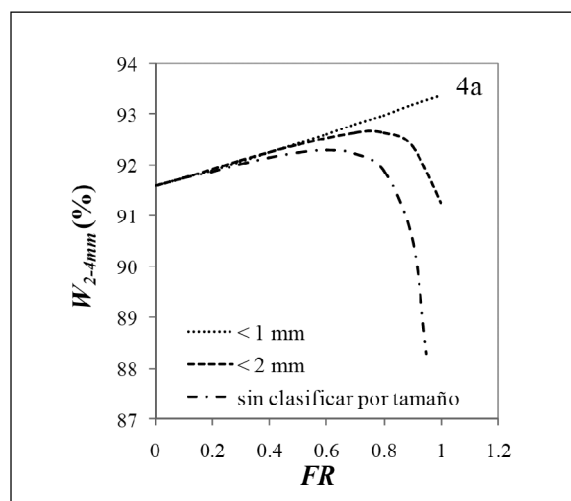


Figura 4. Variables de interés para derivación a disolución de diferentes cantidades de distintas fracciones granulométricas de la corriente de salida del molino y de la corriente sin clasificar por tamaño.

4. Conclusión

En este trabajo se exploró el efecto de la purga

y derivación a disolución de los finos generados a la salida del molino de rodillos sobre la performance del circuito. Simulaciones de estado estacionario realizadas con un simulador del circuito de granulación de urea, previamente desarrollado y extensamente estudiado, permitieron demostrar que puede mejorarse la fracción de producto en especificación si se eliminan las partículas menores a 1 mm presentes a la salida del molino de rodillos.

Estos resultados confirman la necesidad de trabajar con pocos finos en el sistema y sugieren la necesidad de incorporar una zaranda de clasificación a la salida del molino. La operación más atractiva consiste en modificar el diagrama de flujo mediante la separación de las partículas menores a 1 mm y su derivación a disolución para su posterior inyección dentro del granulador.

Agradecimientos. Los autores expresan su gratitud por el apoyo financiero al Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), la Agencia Nacional de Promoción científica y Tecnológica (ANPCyT) y la Universidad Nacional del Sur (UNS).

Referencias

1. N. Balliu, I.T. Cameron, Performance assessment and model validation for an industrial granulation circuit, *Powder Technology*. 179 (2007) 12-24.
2. P. Heffer, M. Prud'homme, Fertilizer Outlook 2011 - 2015, 79th IFA Annual Conference. (2011).
3. D.E. Bertín, G. Mazza, J. Piña, V. Bucalá, Modeling of an Industrial Fluidized-Bed Granulator for Urea Production, *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 46 (2007) 7667-7676.
4. I.M. Cotabarren, P.G. Schulz, V. Bucalá, J. Piña, Modeling of an industrial double-roll crusher of a urea granulation circuit, *Powder Technology*. 183 (2008) 224-230.
5. A.A. Adetayo, J.D. Litster, I.T. Cameron, Steady state modelling and simulation of a fertilizer granulation circuit, *Computers & Chemical Engineering*. 19 (1995) 383-393.
6. S. Heinrich, M. Peglow, M. Ihlow, L. Morl, Particle population modeling in fluidized bedspray granulation—analysis of the steady state and unsteady behavior, *Powder Technology*. 130 (2003) 154-161.
7. S. Heinrich, M. Peglow, M. Ihlow, M. Henneberg, L. Morl, Analysis of the start-up process in continuous fluidized bed spray granulation by population balance modelling, *Chemical Engineering Science*. 57 (2002) 4369-4390.
8. R. Radichkov, T. Muller, A. Kienle, S. Heinrich, M. Peglow, L. Morl, A numerical bifurcation analysis of continuous fluidized bed spray granulation with external product classification, *Chemical Engineering and Processing*. 45 (2006) 826-837.
9. M. Dosta, S. Heinrich, J. Werther, Fluidized bed spray granulation: Analysis of the system behaviour by means of dynamic flowsheet simulation, *Powder Technology*. 204 (2010) 71-82.
10. I.M. Cotabarren, J. Rossit, V. Bucalá, J. Piña, Modeling of an industrial vibrating doubledeck screen of a urea granulation circuit, *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 48 (2009) 3187-3196.
11. I.M. Cotabarren, D.E. Bertín, J.A. Romagnoli, V. Bucalá, J. Piña, Dynamic simulation and optimization of a urea granulation circuit, *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 49 (2010) 6630-6640.
12. D.E. Bertín, J. Piña, V. Bucalá, Dynamics of an industrial fluidized-bed granulator for urea production, *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 49 (2010) 317-326.
13. CF Industries. Product specification sheet: Granular urea. Deerfield, Illinois, USA. <http://cfindustries.com/producturea.htm>, (2011).
14. Karnaphuli Fertilizer Company Limited. Rangadia, Anowara Chittagong, Bangladesh. <http://www.kafcobd.com/html/products.html>, (2011).

